

モバイル空間統計に基づく災害後外部支援者の 実効滞在時間の計算方法*

東北大学大学院 澤村 悠里
東北大学災害科学国際研究所 奥村 誠
金沢大学 山口 裕通

1. はじめに

大規模災害後の被災地の復旧には外部からの適切な支援が必要である。奥能登地域を中心に甚大な被害をもたらした令和6年能登半島地震では、貧弱な道路網の寸断と復旧の遅れにより、外部支援者の受け入れが困難となり、「静かすぎる被災地」とも呼ばれた。復旧活動の改善を図る上では、外部支援者の現地での活動量や時間を把握し、支援が不足している地域への交通機能の改善を検討するなど、被災地全体としての復旧につながる抜本的な施策を行う必要がある。

携帯電話位置情報データの1つであるモバイル空間統計は、日本全国の1時間ごとの人口分布を500mメッシュ単位で準リアルタイムに把握できる¹⁾。現地での直接的な計測が困難な災害時でも人口分布を把握できることを活かして被災地における外部支援者の活動量や時間を推定できれば、災害時の復旧計画、受援計画の検討に役立つと考えられる。

しかし、モバイル空間統計から直接把握できる各メッシュの滞在者には、当該メッシュ内で活動中の人(実効滞在者)だけでなく、別の地域に移動中の人(移動者)も含まれる。外部支援者の活動量や時間を把握する上では、実効滞在者のみを把握する必要がある。

本研究では、モバイル空間統計から実効滞在者の滞在時間(以下、実効滞在時間)の抽出を試みる。すなわち、モバイル空間統計のメッシュごとの人口分布データを連続するゾーンに集計した上で、交通工学における累積図を応用することで、外部支援者の全滞在時間を実効滞在時間と移動時間に分割することが可能となる。

2. 対象地域・対象者・対象期間

本研究では、令和6年能登半島地震の主要な被災地における、その後の外部支援者の実効滞在者数と実効滞在時間を計算する。対象地域は、図-1に示す地震の被害が特に大きかった輪島市、珠洲市、七尾市、能登町、穴水町、志賀町の6市町とする。

外部支援者の数は、モバイル空間統計のメッシュ別時間帯別の人口分布データにおいて、全人口から6市町居住者人口を差し引いた値を与える。

対象期間は、データが不安定であった発災直後を除いた2024年1月15日(月)から2024年12月27日(金)



図-1 対象地域能登半島6市町

*A method for calculating the effective time spent by external supporters after a disaster based on mobile spatial statistics by Yuri Sawamura, Makoto Okumura and Hiromichi Yamaguchi

表-1 ゾーン累積図の基本的数量

文字	意味
i	ゾーン番号
t	時刻
T	最終時刻
X_i^t	時点 t におけるゾーン i 存在人口[人]
Y_i^t	時点 t におけるゾーン i 以遠人口[人]
Z_i^t	時点 t におけるゾーン i 実効滞在人口[人]
k_i^t	時点 t におけるゾーン i 移動人口[人]

とする。なお、分析結果は、行動パターンの違いを考慮し、平日と土休日に分けて 1 週間ごとの平均値を表示する。

本研究では、外部支援者を現地宿泊者と往復移動者の 2 種類に区分する。現地宿泊者は、夜間を含めて 1 日中被災地内活動場所に滞在する人を指し、各地域の夜間の滞在人口の最小値に等しいと考える。また、1 人当たり 8 時間の活動を行っているとは仮定する。往復移動者は、午前中に被災地外から被災地内の目的地へと移動し、午後には被災地外に移動する人を指し、その人数と実効滞在時間は、以下に示す方法で計算する。

3. ゾーン累積図

往復移動者の実効滞在時間を把握するために、移動時間を計算する必要がある。交通工学の累積図²⁾は、一方向に車両が流れる単路上のある地点を通過した累積車両台数を時刻に対してプロットした図であり、任意の 2 地点間に存在した全車両の総滞在時間[台・時間]を把握することが可能である。対象地域を外部支援者が一方向に移動する道路に見立てることで、累積図を応用して各ゾーンにおける総滞在時間[人・時間]を計算するとともに、総実効滞在時間[人・時間]と総移動時間[人・時間]に分離する。

対象地域である能登半島において、往復移動者は、午前中に半島の根元から先端方向に移動し、午後には半島の根元方向に移動する。この移動方向を考慮して、対象地域内の 500m メッシュを 2km ごとのゾーンに集約すれば、外部支援者は連続するゾーン境界線を順に通過する。そこで、データから 1 時間ごとに、各ゾーンとそれ以遠に存在する人口を求めて、図-2 のように 1 時間ごとのゾーン前後の境界線の累積通過人数と考えるとプロットすれば、単路の累積図に対応するゾーン累積図を作成できる。なお、当日流入人口のみを対象とするための夜間人口を除去する補正や逆行を除去する補正を施し、午前・午後それぞれのゾーン累積図を作成する。

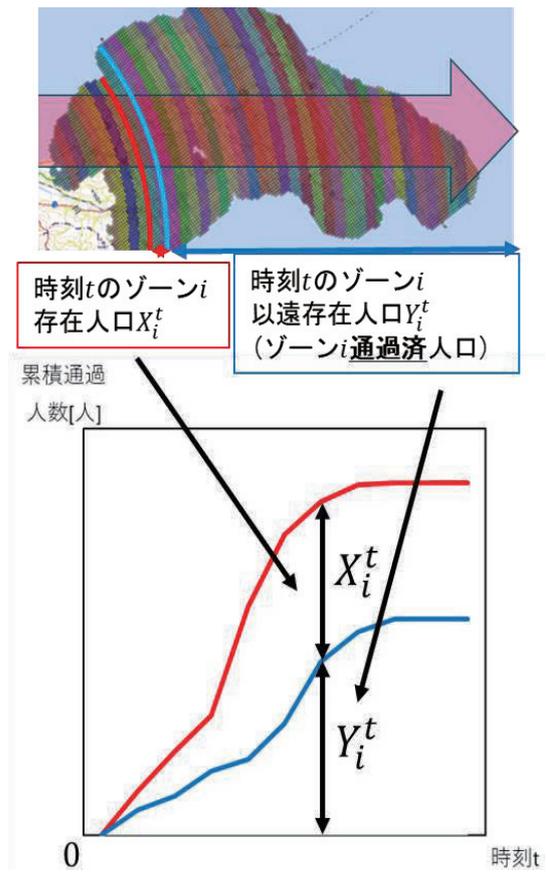


図-2 ゾーン累積図の考え方

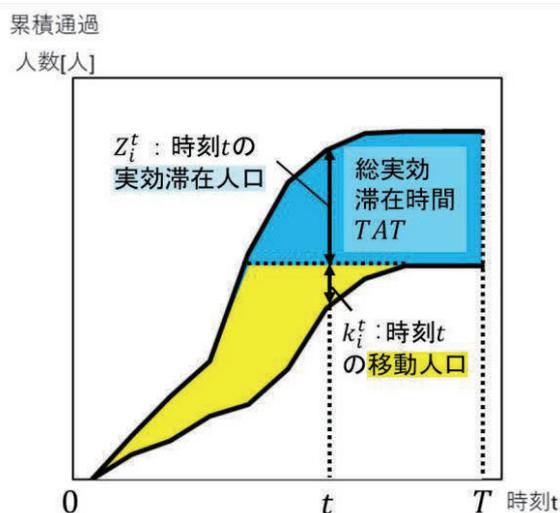


図-3 目的地が遠い人から順に流入する場合の構成比

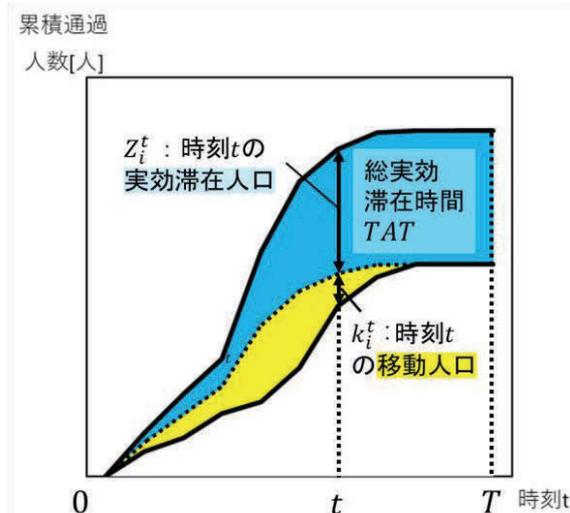


図-4 どの目的地に向かう人も時間的に一様に出発する場合の構成比

ゾーン累積図から把握できる総滞在時間を、総実効滞在時間[人・時間]と総移動時間[人・時間]に分離することで移動時間を取り除き、実効滞在時間を抽出する。総実効滞在時間 TAT [人・時間]と総移動時間 TTT [人・時間]の構成比は人の流入順序に依存する。目的地が遠い人から順に流入する場合の構成比は図-3 のようになり、青色で示した総実効滞在時間は最小となる。また、どの目的地に向かう人も時間的に一様に出発する場合の構成比は図-4 のようになり、総実効滞在時間は最大となる。総実効滞在時間の真の値はこれらの2つの極端値の範囲内に存在する。本論文では、どの目的地に向かう車両も時間的に一様に出発する状況を仮定した図-4の構成比に基づく計算結果を示す。

ゾーン累積図から、当該ゾーンにおいて往復移動外部支援者が午前に着後実効滞在を開始する平均時刻(実効滞在開始時刻 t_i^{in})と、午後の実効滞在を終了する平均時刻(実効滞在終了時刻 t_i^{out})を計算できる。

$$t_i^{in} = \sum_{t=T-24}^T t \cdot \frac{\frac{dz_i^t}{dt}}{\max(z_i^t)} \quad (1)$$

$$t_i^{out} = \sum_{t=T-24}^T (-t) \cdot \frac{\frac{dz_i^t}{dt}}{\max(z_i^t)} \quad (2)$$

この差から1人当たりの実効滞在時間である平均実効滞在時間 AAT [時間]を計算できる。

$$AAT = t_i^{out} - t_i^{in} \quad (3)$$

総実効滞在時間 TAT [人・時間]は実効滞在人口 Z_i^t [人]と活動時間[時間]をかけあわせたものであるから、この値の大きい地域ほど支援活動が集中して行われていると考えられる。

$$TAT = \sum_{t=T-24}^T Z_i^t \quad (4)$$

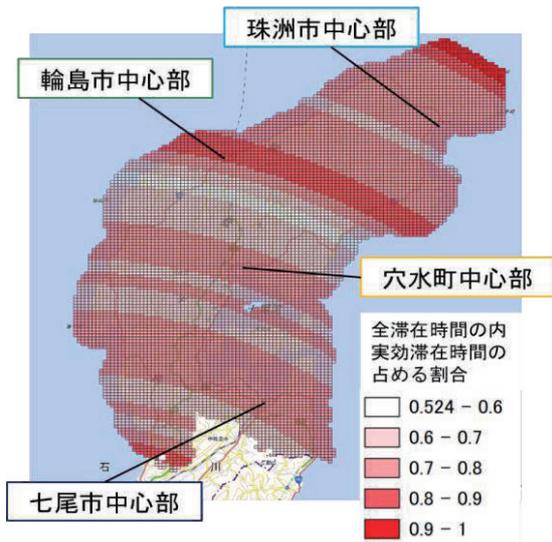


図-5 各ゾーンにおける実効滞在時間率

4. 実効滞在時間率の確認

まず、往復移動外部支援者の全滞在時間のうち、実効滞在時間の占める割合(実効滞在時間率)を確認する。図-5は2024年2月第2週平日の各ゾーンにおける実効滞在時間率の週平均値を示しており、赤色が濃いほど実効滞在時間の占める割合が大きく、薄いほど移動時間の占める割合が大きい。

輪島市中心部や半島先端部(珠洲市)が含まれるゾーンの実効滞在時間率が最も高く、80%以上となっている。ついで、珠洲市中心部、穴水町中心部、七尾市中心部を含むゾーンでは70~80%となっている。他方、これらの間に位置するゾーンの実効滞在時間率は60%程度と低く、40%程度の時間が移動に費やされていることがわかる。

5. 実効滞在時間の推移

本章では、対象地域における平日の往復移動者の実効滞在時間を週平均値の推移を用いて確認する。

以下では、全ゾーンでの計算値の中から、図-6に示す輪島市、珠洲市、七尾市、穴水町の各

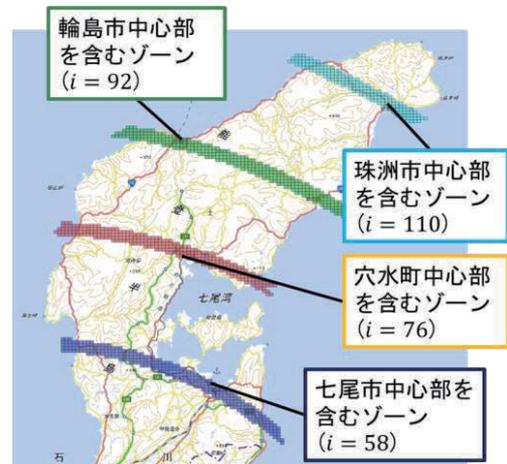


図-6 実効滞在時間の推移を示す4ゾーン

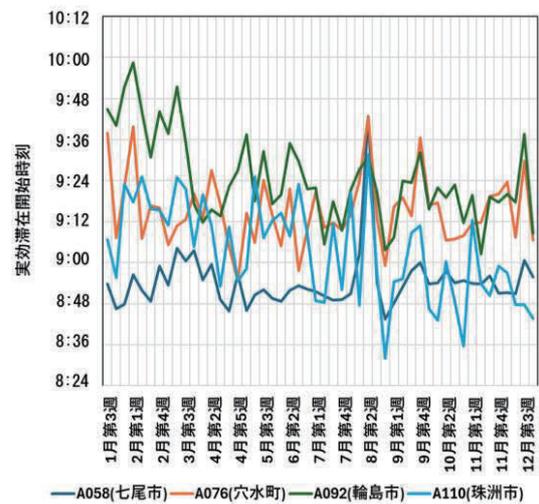


図-7 実効滞在開始時刻の推移

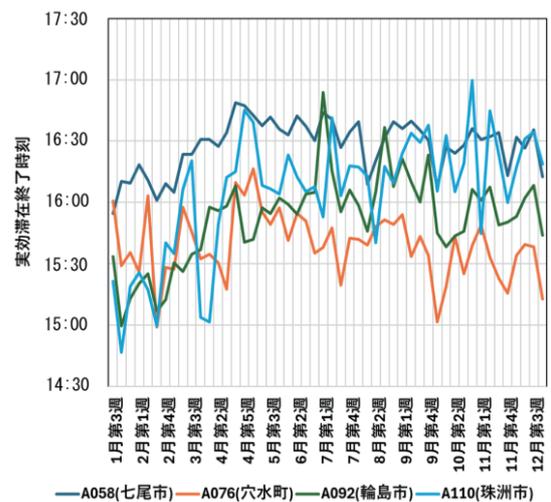


図-8 実効滞在終了時刻の推移

中心部が含まれる4ゾーンの推移を示す。特に輪島市、珠洲市、穴水町は奥能登と呼ばれる地域に属しており、震源から近く特に被害が甚大だった地域である。奥能登に至るまでの貧弱な道路網が寸断した結果、外部支援者の受け入れが困難な状況が長期にわたって続いたという状況を踏まえて、計算結果から地域ごとの活動量についての考察を行う。

往復移動外部支援者の実効滞在開始時刻の推移を図-7に示す。発災後約3か月間は一貫して七尾市における実効滞在開始時刻が最も早かったことが確認できる。他方、奥能登の3市町の実効滞在開始時刻は、発災直後は七尾市よりも30~60分程度遅かったが、その後徐々に早くなっていった。

往復移動外部支援者の実効滞在終了時刻の推移を図-8に示す。発災後数か月間は一貫して七尾市が最も実効滞在終了時刻が遅かった。他方、奥能登の輪島市、珠洲市の2市は、発災後から徐々に実効滞在終了時刻が遅くなっていく状況が確認された。一方で、穴水町は発災後からあまり変化がなかった。

往復移動外部支援者の平均実効滞在時間[時間]の推移を図-9に示す。発災後数か月間は一貫して七尾市が最も平均実効滞在時間[時間]が長い状況であり、4地域の中で最も長い時間外部支援者が復旧作業にあたっていたと思われる。奥能登の3市町に着目すると、発災直後から徐々に平均実効滞在時間[時間]が長くなっていく状況が確認された。

往復移動外部支援者の総実効滞在時間[人・時間]の推移を図-10に示す。4市町の中では七尾市が最も総実効滞在時間の値が大きかった。発災から2か月程度上昇し続け、その後も一定の水準を保っていた。輪島市の総実効滞在時間が次に大きく、発災から4月第2週まで上昇し続けたが、その後減少し、ほぼ一定の水準で推移した。穴水町や珠洲市では総実効滞在時間は発災後から3月第2週までやや上昇したが、それ以降減少したことがわかった。

4地域の実効滞在時間の推移から、半島の根元にある七尾市と奥能登地域とで支援の量に大きな差があったこと、奥能登地域の中でも、輪島市と珠洲市・穴水町との間で支援の量に大きな差があったことがわかった。輪島市では8月第2週の総実効滞在時間が大きいですが、これはお

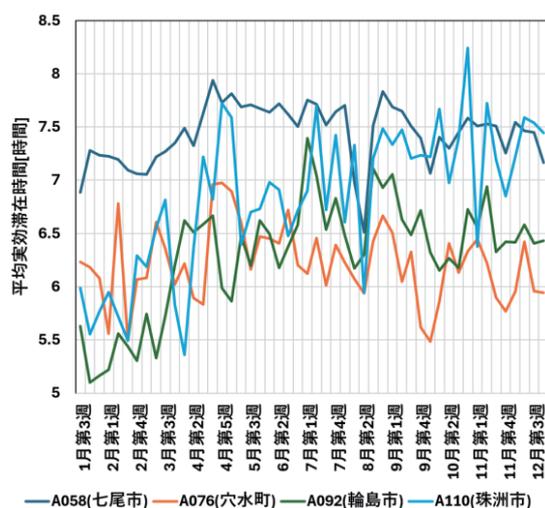


図-9 平均実効滞在時間[時間]の推移

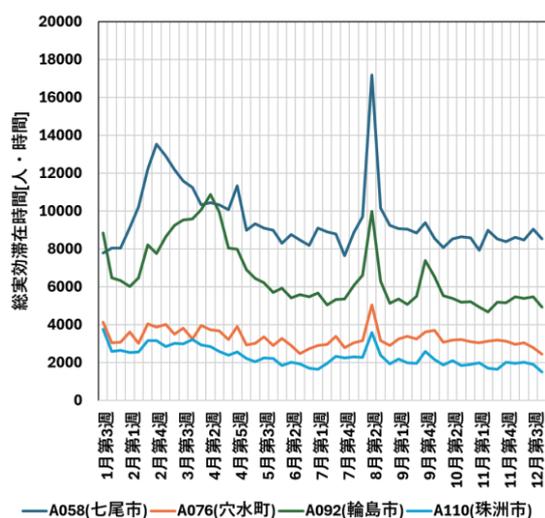


図-10 総実効滞在時間[人・時間]の推移

盆の帰省者によるものと考えられる。また、輪島市で顕著に見られた9月第4週のピークは、9月の豪雨災害後の支援活動に伴うものと考えられる。

最後に、対象地域全域の総実効滞在時間、総移動時間、実効滞在時間率の推移を図-11に示す。総滞在時間は発災後から徐々に上昇し、3~4月ごろにピークを迎えた。総実効滞在時間も同様に発災後徐々に上昇し、3~4月ごろがピークとなった。実効滞在時間率は、発災直後は57%程度と低かったが2月上旬ごろに一度60%を超えた。その後4月下旬から5月にかけて63%程度に上昇した。

これらの結果は、発災直後は交通障害によって多くの移動時間を要したが、その後の数か月をかけて交通網が復旧した結果、支援活動により多くの時間が割けるようになっていったことを示していると考えられる。

6. おわりに

本研究では、時間帯別の人口分布データであるモバイル空間統計データから、災害後外部支援者の実効滞在時間を計算する方法を提案した。データから得られる推計人口を、交通工学の累積図を応用し、実効滞在人口と移動人口に分割した。この提案手法を用いて令和6年能登半島地震後の外部支援者の実効滞在時間を計算した結果、どの地域も発災後しばらくは、外部支援者の平均実効滞在時間がおおむね長くなっていく状況が確認された。一方で、半島根元側の七尾市と奥能登地域の間で、また奥能登地域の中で、外部支援の量に大きな差があることが示唆された。実効滞在時間の地域差の原因は様々考えられるが、各地域に至るまでの交通網の復旧の差が影響していると考えられる。また、対象地域全域における実効滞在時間率の推移から、発災直後から数か月かけて徐々に交通網が改善し移動時間が短縮されたことで、支援に割ける時間が伸びていったことがわかった。

実際の交通網やインフラの復旧状況を加味し、比較・考察することが今後の課題である。

謝辞

モバイル空間統計データの使用にあたり、東北大学災害科学国際研究所、災害レジリエンス共創研究センターの支援を受けた。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) NTTドコモ：モバイル空間統計とは、<https://mobaku.jp/about/>
- 2) 桑原雅夫：交通流理論 - 流れの時空間変化をひも解く，pp.69-104，一般社団法人交通工学研究会，2020。

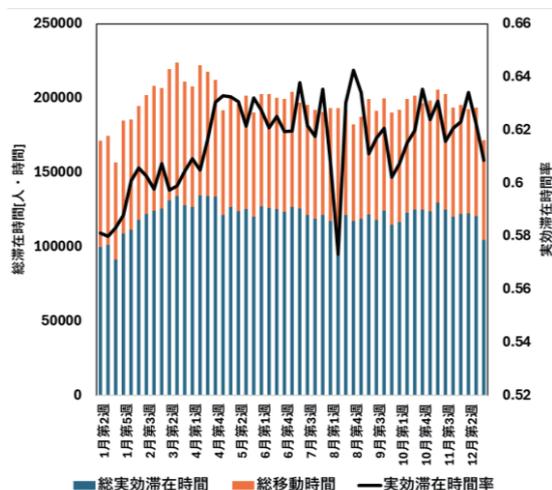


図-11 対象地域全域の総滞在時間[人・時間]と実効滞在時間率の推移